

# 综合地球物理方法在蒙古国中戈壁省某铁- 锌多金属矿区勘查中的应用

于宝显 李德亮 张 帅 王怀坤 冯昌格 李 鹏

(中国冶金地质总局山东正元地质勘查院, 山东济南 250101)

**[摘 要]**采用高精度磁法与双频激电法相结合的方式对蒙古国中戈壁省某铁-锌多金属矿区进行地球物理勘查评价,圈定出多个低磁、高视幅频率、低视电阻率异常区。经工程验证该异常由多个铁-锌金属矿体引起。矿体赋存于花岗岩与大理岩接触交代所形成的矽卡岩带内,矿床成因类型为接触交代矽卡岩型,矿床规模为中型。该矿区研究结果表明,高精度磁法与双频激电法的联合应用,可以快速圈定深部铁锌多金属矿化异常体,并为后期探矿工程部署提供依据,是寻找同类型矿床的有效方法之一。

**[关键词]**地球物理方法 高精度磁法 双频激电法 铁-锌多金属 蒙古国

**[中图分类号]**P618 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2014)01-0192-07

Yu Bao-xian, Li De-liang, Zhang Shuai, Wang Huai-kun, Feng Chang-ge, Li Peng. Joint application of magnetic and electric methods to an iron-zinc polymetallic deposit in middle Gobi Province of Mongolia [J]. *Geology and Exploration*, 2014, 50(1): 0192-0198.

在金属矿产勘探发展过程中,地球物理方法一直发挥着重要作用,尤其是在当前以“攻深探盲”为特征的矿产勘查中(刘光鼎等,1995),地球物理方法对金属矿产找矿突破的贡献更为突出。金属矿产勘查的一个基本原则是由面上到深部(张作伦等,2007;张伟庆等,2009),在面上,近年应用较广的评价方法主要有激发极化法(蔡运胜等,2012)、甚低频电磁法(张寿庭等,1999;张作伦等,2008)、高精度磁法(梁德超等,1999,2000;张鲁新等,2008;柳建新等,2011)、伽马能谱法(刘菁华等,2004;祁民等,2009;孙燕等,2010)、重力勘探法(曾华霖,2005)等;深部以大地电磁法(陈德志,1979)、双频激电法(刘春明等,2007;柳建新等,2004;何继善,2006;武炜等,2009)、可控源音频大地电磁法(汤井田等,2005)、瞬变电磁法(陕亮等,2009)、EH4电磁成像系统(樊战军等,2007)等方法应用为代表。

蒙古国中戈壁省某铁-锌多金属矿区地处中蒙褶皱系北缘,戈壁-克鲁伦铁-锌多金属成矿带西南部,以接触交代矽卡岩型铁-锌多金属矿化为主。

早期地质工作者在该区域开展了航磁测量、地质测量、高精度磁法测量等工作,依据测量结果对矿区成矿条件、成矿特征等进行综合分析,并划分出两个成矿预测区(图1),即I、II号成矿预测区,其中I号成矿预测区内磁异常值极高、磁铁矿体地表出露较好,勘查找矿成果明显;II号成矿预测区内磁异常值较低,地表未见矿体出露,前期工作对找矿的指导性较差,未取得明显找矿成果。

为寻求找矿突破,通过对比分析I号成矿预测区内成矿特征,在研究区低磁区段首次采用高精度磁法测量与双频激电测量相结合的方法开展评价工作,并依据评价结果指导槽探、钻探等探矿工程的部署。在该方法指导下勘查找矿取得重大进展,共发现铁-锌矿体4个,独立磁铁矿体1个,独立锌矿体1个,共探求(332+333)铁矿石量约3000万t,(332+333)锌金属量约37万t,矿床规模达到中型。由此可见,高精度磁法与双频激电法的综合应用对于寻找深部盲矿体具有重要指导作用。

**[收稿日期]**2013-04-18; **[修订日期]**2013-08-20; **[责任编辑]**郝情情。

**[基金项目]**国外矿产资源风险勘查专项(10245B009)资助。

**[第一作者]**于宝显(1969年-),男,1995年毕业于华东地质学院应用地球物理专业,学士学位,工程师,现从事地质找矿及技术管理工作。E-mail:yubaoxian@sina.cn。

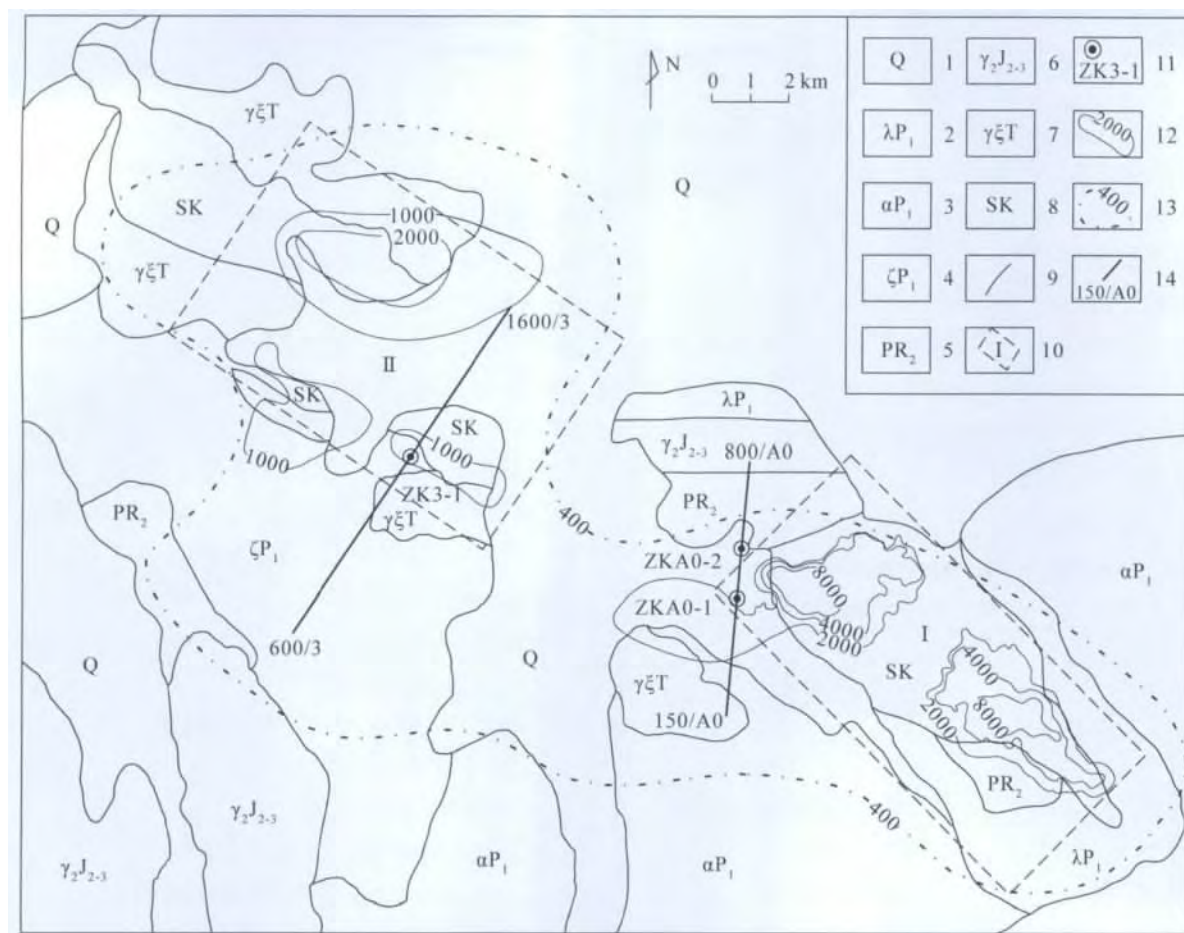


图1 研究区地质物探综合平面图

Fig. 1 Geological and geophysical comprehensive planar map of the research area

1 - 第四系;2 - 下二叠统流纹岩、流纹质角砾凝灰岩;3 - 下二叠统安山岩、凝灰岩;4 - 下二叠统英安岩、角砾凝灰岩;5 - 中元古界页岩、大理岩化灰岩;6 - 中晚侏罗世花岗岩;7 - 三叠纪花岗正长岩;8 - 矽卡岩;9 - 地质界线;10 - 成矿预测区及编号;11 - 钻孔及编号;12 - 磁法异常等值线;13 - 航磁异常等值线;14 - 测线(激电测深点编号/测线编号)

1 - Quaternary;2 - lower Permian rhyolite and rhyolitic pyroclastic rocks;3 - lower Permian andesite and tuff;4 - lower Permian dacite and lava tuff breccia;5 - middle Proterozoic shale and marbleization - limestone;6 - middle late Jurassic granite;7 - Triassic granosyenite;8 - skarn;9 - geological boundary;10 - metallogenetic prognosis area and its number;11 - hole and its number;12 - magnetic anomaly contour;13 - aeromagnetic anomaly contour;14 - survey line (IP sounding number/survey line number)

## 1 研究区地质概况

研究区内地层发育,除第四系外,主要出露中元古界灰岩、大理岩、薄层石英角闪片岩及古生界二叠系安山岩、流纹岩、英安岩、凝灰岩、角砾凝灰岩等(图1);岩浆活动强烈,以印支期、燕山期岩浆侵入为主,包括三叠纪花岗正长岩、正长斑岩及中-晚侏罗世花岗岩、流纹斑岩等;区内构造简单,以接触带构造为主,即中元古界灰岩、大理岩与中生代花岗岩体接触形成矽卡岩带,总体呈NW-SE走向,似层状、透镜体状、不规则状分布,与铁-锌多金属矿化关系密切,为重要导矿、容矿构造,局部发育断裂构

造,规模较小,为成矿后断裂,对矿体有一定破坏作用。

## 2 应用条件分析

研究区内典型岩(矿)石在磁化率、视幅频率、视电阻率等特征方面差异明显(表1),其中铁锌矿石、磁铁矿石、含铁(锌)矿化矽卡岩等均表现出高磁性、高视幅频率及低视电阻率的特征;锌矿石表现出低磁性、高视幅频率及低视电阻率的特征;其它岩石如花岗正长岩、闪长玢岩、大理岩、矽卡岩、凝灰岩及流纹岩等均表现出低磁性、低视幅频率及高视电阻率的特征。因此,综合应用高精度磁法、双频激电

法可以将铁-锌矿化体与围岩明显区分开来。

### 3 仪器特点与工作参数

本次研究主要是应用地球物理方法(高精度磁法、双频激电法)对成矿预测区成矿特征进行分析,具体采用高精度磁法剖面测量与激电中梯剖面测量相结合的方式。

高精度磁法剖面测量仪器采用重庆奔腾数控技术研究所生产的 WCZ-1 质子磁力仪,测量精度为  $\pm 1\text{nT}$ ,分辨率  $0.1\text{nT}$ 。具体工作参数:测点距离  $20\text{m}$ ,测线垂直于磁异常走向布设,方向为  $\text{NE}5^\circ$  或  $\text{NE}34^\circ$ ,观测参数为地磁  $\Delta Z$ 。

表 1 研究区内岩(矿)石电、磁参数统计表

Table 1 Statistics of electrical and magnetic parameters of rocks and ores in the research area

岩(矿)石名称	磁化率 $K$ ( $\times 10^{-5}\text{SI}$ )	视幅频率( $F_s$ ) 算术平均值 (%)	视电阻率( $\rho_s$ ) 算术平均值 ( $\Omega \cdot \text{m}$ )	数量 (件)
大理岩	23	1.22	815.34	41
砂卡岩	41	1.07	541.65	74
凝灰岩	96	0.89	613.22	45
流纹岩	113	1.62	426.51	62
花岗正长岩	1050	1.14	792.15	143
闪长玢岩	3022	1.32	879.82	58
锌矿石	86	2.89	157.36	44
铁(锌)矿石	28091	3.86	165.47	150
磁铁矿石	53959	4.21	104.52	210
含铁(锌) 矿化砂卡岩	59538	2.35	189.64	124

注:岩(矿)石磁化率使用中国国土资源航空物探遥感中心生产的 ZH-1 型磁化率仪测量;利用重庆奔腾数控技术研究所研制的岩样测试信号源对采集的岩(矿)石标本进行电性参数测定。

激电中梯剖面测量采用重庆奔腾数控技术研究所生产的 WDJF-1 数字幅频激电仪发射机和接收机,仪器标定精度为:发射机不恒流时最大发射功率为  $2400\text{W}$ ,电流测量精度  $\pm 5\%$ ;恒流时为最大发射功率为  $800\text{W}$ ,电流测量精度  $\pm 3\%$ 。接收机电压测量精度  $\pm 5\%$ ,输入阻抗  $\geq 50\text{M}\Omega$ ,该观测装置具有抗干扰能力强、稳定性好并且观测精度高的特点。具体工作参数:测线方向为  $\text{NE}5^\circ$  或  $\text{NE}34^\circ$ ,供电电极  $AB=1500\text{m}$ ,测量电极  $MN=40\text{m}$ ,测点距离  $20\text{m}$ ,高低频率组合  $8\text{Hz}$  和  $8/13\text{Hz}$ ,在供电  $AB$  的中间  $2/3$  段范围内进行测量,获得激电异常参数为高低频电压( $V_H$ 、 $V_L$ )、视幅频率( $F_s$ ),供电点  $A$ 、 $B$  及测点利

用日本索佳 SET510 型电子全站仪( $5''$ )进行布设。

### 4 应用效果分析

#### 4.1 A0 线联合剖面应用效果

A0 线剖面测量布设于研究区中部,Ⅰ号成矿预测区西北部,测线方位  $\text{NE}5^\circ$ ,早期磁法异常等值线图显示测线穿越范围内磁异常较差,推测由此向北西方向不具备良好找矿前景。但高精度磁法剖面测量结果显示(图 2):整条剖面在  $450 \sim 700$  号点附近有一个相对明显的高磁异常区域, $\Delta Z$  极大值为  $2200\text{nT}$ (背景场为  $58200\text{nT}$ ),虽磁异常值总体较小,但该异常范围较大,形态较规整,曲线近似呈等轴状,推测该范围内深部仍存在寻找磁铁矿体的可能性。同时,激电中梯剖面测量结果表明(图 2):整条剖面以  $360$  号点为界存在明显的电性差异: $0 \sim 360$  号点视电阻率值大于  $1000\Omega \cdot \text{m}$ ,视幅频值小于  $2.0\%$ ,为高阻低极化; $360 \sim 720$  号点视电阻率值小于  $200\Omega \cdot \text{m}$ ,视幅频率值大于  $2.0\%$ ,个别测量点大于  $4.0\%$ ,为低阻高极化,故推测  $360 \sim 720$  号点之间深部存在一定程度的金属矿化。

依据上述测量结果,建立 A0 物探联合剖面并进行综合分析,结果表明:测线内磁异常相对明显区段与激电中梯视电阻率异常、视幅频率异常范围基本吻合,二者相互验证,结合研究区内主要岩(矿)石物性参数测定结果,推测该异常为矿致异常,由含磁铁矿砂卡岩或铁(锌)矿体引起。

以上述物探分析结果为依据,对相应异常区域布设钻孔 ZKA0-1、ZKA0-2 进行异常查证(图 2),结果表明:该区域深部存在 1 个独立的磁铁矿体和 1 个独立的锌矿体,均为砂卡岩型,矿体总体走向  $\text{NW}275^\circ$ ,倾向北,倾角  $35^\circ$ ,埋深标高  $1100 \sim 1305\text{m}$ ,呈似层状产出,并具有分支复合现象,单工程见矿水平厚度  $23.24 \sim 120.78\text{m}$ ,平均水平厚度  $56.60\text{m}$ ,真厚度  $13.59 \sim 73.86\text{m}$ ,平均真厚度  $33.90\text{m}$ ,属厚度变化稳定型矿体。

#### 4.2 3 线联合剖面应用效果

3 线剖面测量布设于研究区中西部,Ⅱ号成矿预测区东南部,测线方位  $\text{NE}34^\circ$ ,虽早期该区域圈定了面积较大、形态较完整的航磁异常等值线图,但地表磁法异常等值线图显示测线范围内磁异常较弱,由此似乎可以得出该区域乃至整个Ⅱ号成矿预测区不具备找矿条件的结论,但通过布设联合剖面开展物探测量工作,该区却取得良好效果。



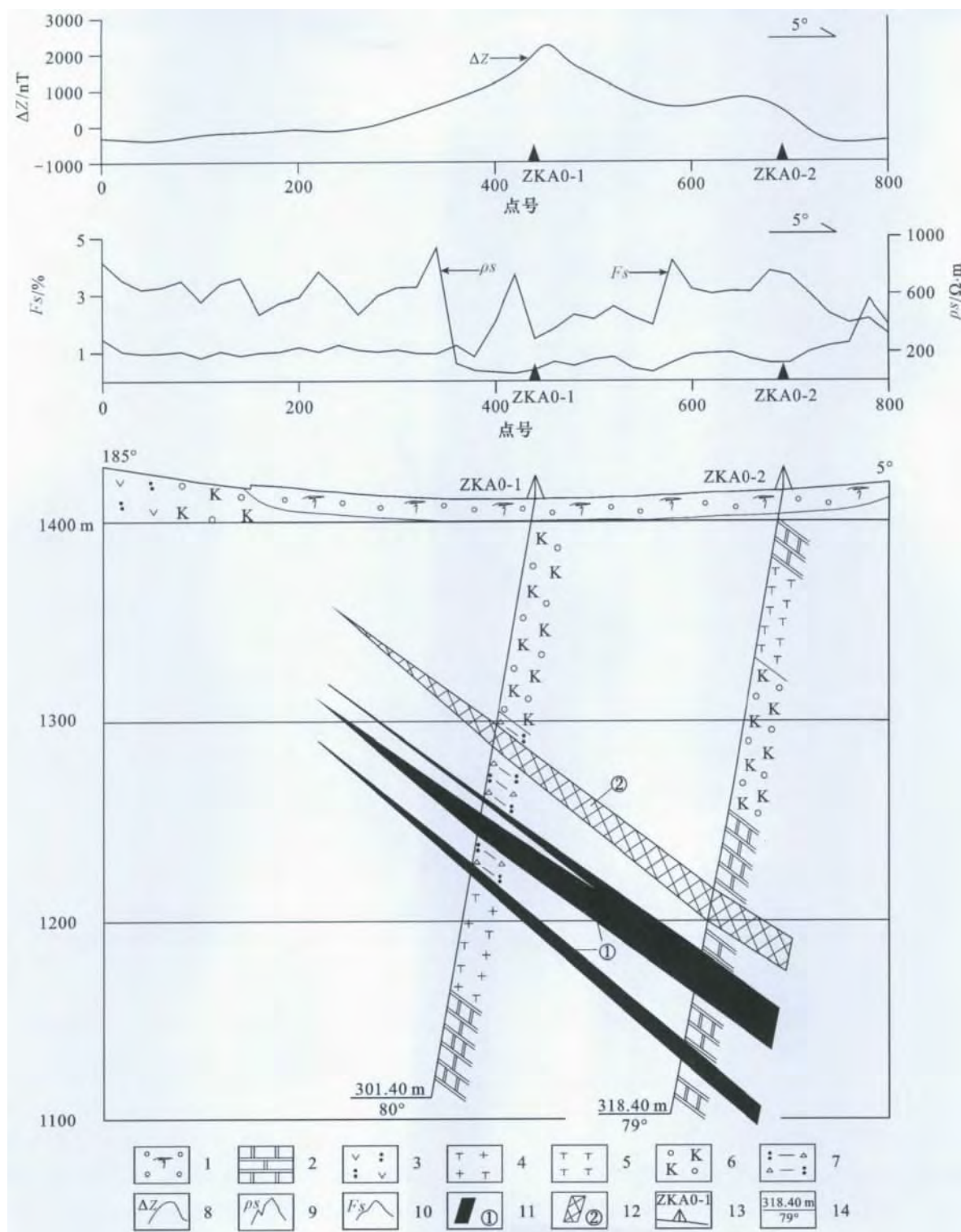


图 2 研究区 A0 线物探-地质联合剖面图

Fig. 2 Geophysical anomalies and geological cross section along prospecting line A0 of the research area

1 - 第四系; 2 - 大理岩化灰岩; 3 - 角砾凝灰岩; 4 - 花岗正长岩; 5 - 正长斑岩; 6 - 砂卡岩; 7 - 碎裂岩; 8 - 磁异常  $\Delta Z$  曲线; 9 - 视电阻率  $\rho_s$  曲线; 10 - 视幅频率  $F_s$  曲线; 11 - 磁铁矿体及编号; 12 - 锌矿体及编号; 13 - 钻孔位置及编号; 14 - 终孔深度/终孔倾角  
 1 - Quaternary; 2 - marbleization-limestone; 3 - breccia tuff; 4 - granosyenite; 5 - syenite porphyry; 6 - skarn; 7 - cataclasite; 8 - magnetic anomaly  $\Delta Z$  curve; 9 - apparent resistivity  $\rho_s$  curve; 10 - apparent amplitude frequency  $F_s$  curve; 11 - magnetite body and its number; 12 - zinc ore body and its number; 13 - hole position and its number; 14 - finished hole depth/finished hole inclination

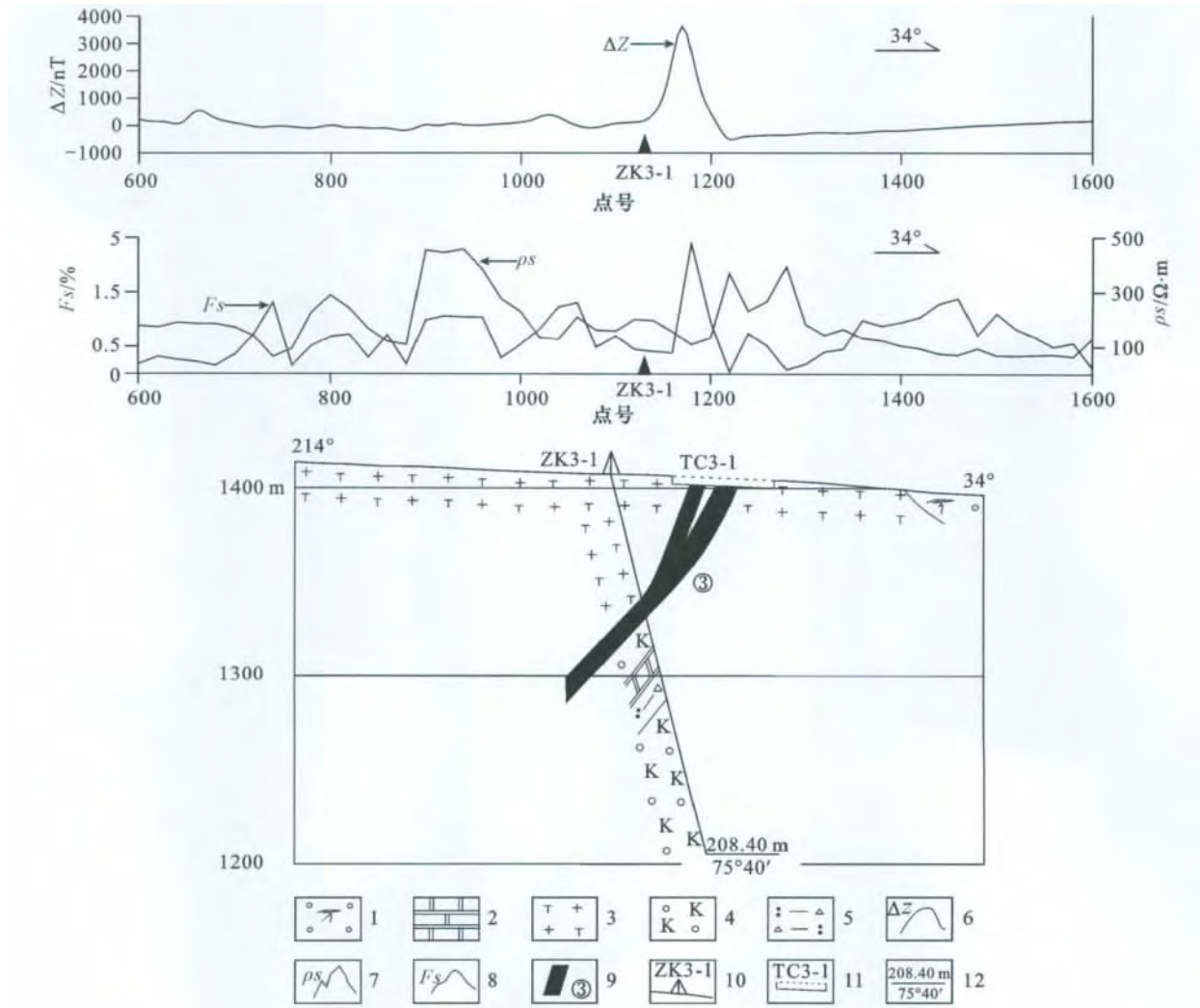


图3 研究区3线物探-地质联合剖面图

Fig.3 Geophysical anomalies and geological cross section along prospecting line 3 of the research area

1 - 第四系; 2 - 大理岩化灰岩; 3 - 花岗正长岩; 4 - 砂卡岩; 5 - 碎裂岩; 6 - 磁异常  $\Delta Z$  曲线; 7 - 视电阻率  $\rho_s$  曲线;  
8 - 视幅频率  $F_s$  曲线; 9 - 磁铁矿体及编号; 10 - 钻孔位置及编号; 11 - 探槽位置及编号; 12 - 终孔深度/终孔倾向  
1 - Quaternary; 2 - marbleization-limestone; 3 - granosyenite; 4 - skarn; 5 - cataclasite; 6 - magnetic anomaly  $\Delta Z$  curve; 7 - apparent resistivity  $\rho_s$   
curve; 8 - apparent amplitude frequency  $F_s$  curve; 9 - magnetite body and its number; 10 - hole position and its number; 11 -  
trench position and its number; 12 - finished hole depth/finished hole inclination

(1) 高精度磁法剖面测量结果显示(图3), 整条剖面在1170号点附近存在一相对明显磁异常区域,  $\Delta Z$  极大值为3600nT(背景场为58200nT), 虽整体磁异常值较小, 磁异常范围较窄, 但异常形态规整, 曲线近似等轴状, 故初步推测, 该区域存在一定程度的磁铁矿化。

(2) 激电中梯剖面测量结果表明(图3), 整条剖面在1170号点处存在较明显的电法异常特征, 其中视电阻率值小于  $200\Omega \cdot m$ , 视幅频率值大于2.5%, 为低阻高极化, 推断该区段存在一定程度的金属矿化。

依据上述分析结果, 建立3线联合剖面并进行综合研究, 结果表明: 整条剖面在1170号点处磁异常与激电中梯视电阻率异常、视幅频率异常相吻合, 结合研究区内主要岩(矿)石物性参数测定结果及矿化特征, 判断该区段为矿致异常, 由含磁铁矿砂卡岩或铁(锌)矿体引起。

以上述研究结果为依据, 对异常区段实施钻探(ZK3-1)、槽探(TC3-1)等工程进行查证, 结果表明: 该区段存在一砂卡岩型铁-锌矿体(图3), 矿体总体走向  $NW 292^\circ \sim 296^\circ$ , 平均  $294^\circ$ , 倾向南, 倾角  $50^\circ \sim 75^\circ$ , 平均  $58^\circ$ , 埋深标高1292~1405m, 呈透

镜状产出,并具有分支复合现象。单工程见矿水平厚度1.13~27.19 m,平均水平厚度12.62 m,真厚度0.95~22.09 m,平均真厚度10.96 m,属厚度变化稳定型矿体。

## 5 结论

(1) 研究区内以接触交代矽卡岩型铁-锌多金属矿化为主,其形成与中元古界灰岩、大理岩化灰岩及中生代花岗岩体密切相关。依据矿区成矿条件及成矿特征可划分为两个成矿预测区,即I、II号成矿预测区。

(2) 研究区内岩(矿)石电、磁参数测量结果表明,区内铁锌矿石、磁铁矿石、含铁(锌)矿化矽卡岩等均表现出高磁性、高视幅频率及低视电阻率的特征;锌矿石表现出低磁性、高视幅频率及低视电阻率的特征。

(3) 依据岩(矿)石在磁化率、视幅频率、视电阻率等特征方面的明显差异,综合应用高精度磁法测量与双频激电法测量,尤其是采用高精度磁法剖面测量与激电中梯剖面测量相结合的方式建立物探联合剖面对低磁区域进行综合研究,可快速圈定低磁盲矿体,对于寻找同类型矿床具有重要指导意义。

### [References]

- Cai Yun-sheng, Yin Hong-yan, Zhang Jin-guo, Xia Xun-yin. 2012. Discussion on working principle and application effect of polarization method [J]. Geotechnical Engineering World, 3(2): 212-218 (in Chinese with English abstract)
- Chen De-zhi. 1979. Brief introduction of magnetotelluric method [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 3(4): 62-67 (in Chinese with English abstract)
- Fan Zhan-jun, Qing Min, Yu Ai-jun, Li Wen-liang, Xu De-li, Chen Xiao-qiang, Lv Xi-wang. 2007. The application of EH4 electromagnetic imaging system to gold ore exploration [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 31(21): 71-76 (in Chinese with English abstract)
- He Ji-shan. 2006. Dual-frequency induced polarization method [M]. Beijing: Higher Education Press: 89-96 (in Chinese)
- Liang De-chao, Deng Jun, Yang Li-qiang. 2000. Application of ground high-precision magnetic measurement to the reconnaissance of one gold mine in eastern Shandong [J]. Geology and Prospecting, 36(3): 67-70 (in Chinese with English abstract)
- Liang De-chao, Yang Li-qiang, Deng Jun. 1999. An example of applying ground high-precision magnetic survey to the prospecting for gold deposits in a gold reconnaissance area of Jiaodong [J]. Acta Geoscientia Sinica, 20(3): 294-301 (in Chinese with English abstract)
- Liu Chun-ming, Liu Jian-xin, He Ji-shan, Weng Jing-bo. 2007. Primary discussion on dual-frequency IP phase method [J]. Geology and Prospecting, 43(4): 65-68 (in Chinese with English abstract)
- Liu Guang-ding, Hao Tian-yao. 1995. Searching of hidden mineral deposits by Geophysical methods [J]. Acta Geophysica Sinica, 8(6): 850-854 (in Chinese with English abstract)
- Liu Jian-xin, Guo Zhen-wei, Tong Xiao-zhong, Liu Qing-bing. 2011. Application of the ground high-precision magnetic method to magnetite survey in the Hami area, Xinjiang [J]. Geology and Prospecting, 47(3): 432-438 (in Chinese with English abstract)
- Liu Jian-xin, Liu Chun-ming, Tong Tie-gang, Liu Hai-fei. 2004. The application of the dual-frequency induced polarization method in a copper polymetallic ore deposit in Tibet [J]. Geology and Prospecting, 40(2): 59-61 (in Chinese with English abstract)
- Liu Jing-hua, Wang Zhu-wen, Hao Li-bo, Tian Gang. 2004. The influence of shallow overburden on ground-gamma spectrometry in Daxin'anling area [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 28(2): 111-113 (in Chinese with English abstract)
- Qi Min, Zhang Bao-lin, Fu Chao, Liang Guang-he, Shen Xiao-li, Xu Yong-sheng, Su Jie, Guo Zhi-hua. 2009. Fast discovery of concealed Cu-W polymetallic deposit in central Inner Mongolia by applying comprehensive exploration methods [J]. Geology and Prospecting, 45(6): 676-682 (in Chinese with English abstract)
- Shan Liang, Xu Rong-ke, Lu Sheng-zhang, Li Xing-de, Cao Chun-guo, Zhang Yu-dian, Cao Liang. 2009. The transient electromagnetic method: Principle, current situation and application in mineral exploration [J]. Geology and Resources, 18(1): 70-73 (in Chinese with English abstract)
- Sun Yan, Liu Jian-ming, Zeng Qing-dong, Zhang Zuo-lun, Zhang Song, Wang Zai-cong, Chu Shao-xiong, Ye Jie, Yu Chang-ming. 2010. Application of comprehensive geophysical methods in ore prospecting in one Au polymetallic mineralizing area [J]. Progress in Geophysics, 25(6): 2096-2101 (in Chinese with English abstract)
- Tang Jing-tian, He Ji-shan. 2005. Controlled source audio magnetotelluric method and its application [M]. Changsha: Central South University Press: 6-20 (in Chinese)
- Wu Wei, Zhang Bao-lin, Liang Guang-he, Li Zhi-yuan, Shen Xiao-li, Qi Min. 2009. Application of dual-frequency UP method in metal ore prediction in two types of typical overburden areas in Western China [J]. Geology and Prospecting, 45(6): 669-675 (in Chinese with English abstract)
- Zeng Hua-lin. 2005. Gravitational field and gravity prospecting [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-150 (in Chinese)
- Zhang Lu-xin, Zhang Zuo-lun, Zeng Qing-dong, Liu Jian-ming, Ye Jie, Yu Chang-ming, Lu Hui-yi, Qin Feng, Zhang Wei-qing. 2008. Application of integrated geophysics method in Damiao anorthosite complex [J]. China Mining Magazine, 17(7): 96-99 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Shou-ting, Xu Zhan-zhang, Zheng Ming-hua. 1999. Application of VLF-EM to the location forecasting of ore [J]. Geological Science and Technology Information, 18(4): 85-88 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Wei-qing, Zhang Zuo-lun, Zhang Lu-xin, Wang Yong-bin, Zeng Qing-dong, Ye Jie, Yu Chang-ming, Liu Hong-tao, Chen Wei-jun. 2009. Application of high precision magnetic survey in the exploration

tion of a lead-zinc deposit [J]. Metal Mine, 394(4): 81–83 (in Chinese with English abstract)

- Zhang Zuo-lun, Zeng Qing-dong, Ye Jie, Jia-Chang-xun, Li Wen-tao. 2007. Location forecasting of buried metal ore-body in grasslands covered area—A case of Lead-Zinc mineral occurrence in Middle-Suthern segment of Daxing'anling mountains [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 37(1): 38–40 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Zuo-lun, Zeng Qing-dong, Ye Jie, Jia-Chang-xun, Li Wen-tao. 2008. Application of VLF-EM in forecasting of ore exploration [J]. Geology and Prospecting, 44(1): 67–69 (in Chinese with English abstract)

#### [附中文参考文献]

- 蔡运胜, 尹洪岩, 张进国, 夏训银. 2012. 激发极化法工作原理方法及应用效果探讨 [J]. 矿产勘查, 3(2): 212–218
- 陈德志. 1979. 大地电磁法简介 [J]. 物探与化探, 3(4): 62–67
- 樊战军, 卿敏, 于爱军, 李文良, 徐德利, 陈孝强, 吕喜旺. 2007. EH4 电磁成像系统在金矿勘查中的应用 [J]. 物探与化探, 31(21): 71–76
- 何继善. 2006. 双频激电法 [M]. 北京: 高等教育出版社: 89–96
- 梁德超, 邓军, 杨立强. 2000. 地面高精度磁测在胶东某金矿普查区的应用 [J]. 地质与勘探, 36(3): 67–70
- 梁德超, 杨立强, 邓军. 1999. 地面高精度磁法测量找寻金矿应用例析 [J]. 地球学报, 20(3): 294–301
- 刘春明, 柳建新, 何继善, 翁晶波. 2007. 双频激电相位法初探 [J]. 地质与勘探, 43(4): 65–68
- 刘光鼎, 郝天珧. 1995. 应用地球物理方法寻找隐伏矿床 [J]. 地球物理学报, 38(6): 850–854
- 柳建新, 郭振威, 童孝忠, 柳庆兵. 2011. 地面高精度磁法在新疆哈密地区磁铁矿勘查中的应用 [J]. 地质与勘探, 47(3): 432–438
- 柳建新, 刘春明, 佟铁钢, 刘海飞. 2004. 双频激电法在西藏某铜多金

属矿带的应用 [J]. 地质与勘探, 40(2): 59–61

- 刘菁华, 王祝文, 郝立波, 田钢. 2004. 大兴安岭地区浅覆盖层对地面伽马能谱测量的影响 [J]. 物探与化探, 28(2): 111–113
- 祁民, 张宝林, 符超, 梁光河, 沈晓丽, 徐永生, 苏捷, 郭志华. 2009. 运用综合预测方法组合快速发现内蒙古中部隐伏大型铜钨多金属矿勘查基地 [J]. 地质与勘探, 45(6): 676–682
- 陕亮, 许荣科, 鲁胜章, 李兴德, 曹春国, 张雨莲, 曹亮. 2009. 瞬变电磁法原理、现状及在矿产勘查中的应用浅析 [J]. 地质与资源, 18(1): 70–73
- 孙燕, 刘建明, 曾庆栋, 张作伦, 张松, 汪在聪, 褚少雄, 叶杰, 于昌明. 2010. 综合地球物理方法在某金多金属矿区找矿中的应用 [J]. 地球物理学进展, 25(6): 2096–2101
- 汤井田, 何继善. 2005. 可控源音频大地电磁法及其应用 [M]. 长沙: 中南大学出版社: 6–20
- 武炜, 张宝林, 梁光河, 李志远, 沈晓丽, 祈民. 2009. 双频激电法在我国西部两类典型覆盖区金属矿体预测中的应用 [J]. 地质与勘探, 45(6): 669–675
- 曾华霖. 2005. 重力场与重力勘探 [M]. 北京: 地质出版社: 1–150
- 张鲁新, 张作伦, 曾庆栋, 刘建明, 叶杰, 于昌明, 卢回忆, 覃峰, 张伟庆. 2008. 综合地球物理方法在大庙铁矿斜长岩杂岩体中的应用 [J]. 中国矿业, 17(7): 96–99
- 张寿庭, 徐旃章, 郑明华. 1999. 甚低频电磁法在矿体空间定位预测中的应用 [J]. 地质科技情报, 18(4): 85–88
- 张伟庆, 张作伦, 张鲁新, 王永斌, 曾庆栋, 叶杰, 于昌明, 刘红涛, 陈伟军. 2009. 高精度磁法在某铅锌矿体勘查中的应用 [J]. 金属矿山, 394(4): 81–83
- 张作伦, 曾庆栋, 叶杰, 贾长顺, 李文涛. 2007. 草原覆盖区隐伏金属矿体定位预测—以大兴安岭中南段某铅锌矿点为例 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 37(1): 38–40
- 张作伦, 曾庆栋, 叶杰, 贾长顺, 李文涛. 2008. 甚低频电磁法在矿体勘查中的应用 [J]. 地质与勘探, 44(1): 67–69

## Joint Application of Magnetic and Electric Methods to An Iron-Zinc Polymetallic Deposit in Middle Gobi Province of Mongolia

YU Bao-xian, LI De-liang, ZHANG Shuai, WANG Huai-kun, FENG Chang-ge, LI Peng

(Zheng Yuan Geological Exploration Institute of Shandong, Bureau of China Metallurgy and Geology, Jinan, Shandong 250101)

**Abstract:** This paper utilized a combination of high-precision magnetic and dual-frequency IP methods to carry out a geophysical evaluation on an iron-zinc polymetallic deposit in Middle Gobi Province of Mongolia and delineated several anomaly areas with low magnetic, high apparent amplitude frequency and low apparent resistivity. Engineering verification suggests that these anomalies are caused by several iron-zinc metal orebodies. These orebodies occur in the skarn zone formed by the contact metasomatism between granite and marble. Genetically, this deposit belongs to a contact metasomatic skarn type, and its scale is of medium size. The results show that a combination of high-precision magnetic and dual-frequency IP methods is effective for seeking the same type of these deposits, which helps to quickly delineate deep iron-zinc polymetallic mineralization anomalous bodies and provide guidance for later deployment of prospecting.

**Key words:** geophysical methods, precision magnetic method, dual-frequency IP method, iron-zinc polymetallic, Mongolia